



#### Tópico 4 - Nº 39

## PATRIMONIO MODERNO: EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS ESTÉTICOS QUE MODIFICAN LA APARIENCIA DEL HORMIGÓN

López Anahí (1)(2)

(1) *Doctora, CICPBA- LEMIT*  
(2) *Doctora, UTN-FRC/SCYT y FRLP*  
*lopezanahi2002@gmail.com*

### RESUMEN

El hormigón arquitectónico es empleado en el patrimonio moderno. Este material realizado a base de cemento pórtland es destacado por sus características estéticas. La forma, la textura y el color son las cualidades que han motivado su elección en obras que adquirieron una valoración histórica. La elección de los materiales y su proporción influyen sobre el aspecto de la superficie y la interacción de la mezcla con el molde que lo contenga contribuirá lo suyo. De todos modos, la calidad de la superficie, en ocasiones, se ve disminuida por la menor homogeneidad del color y la aparición de burbujas. El objetivo del trabajo es proponer una metodología que permita determinar el grado de homogeneidad del color y la cantidad de burbujas en hormigones de diferente fluidez, éstos coloreados con pigmentos rojo y amarillo, y luego garantizar la reproducción del color. El método consiste en realizar una inspección visual que facilite el relevamiento de datos y que considere defectos como manchas y burbujas. Luego de las determinaciones del color y de la superficie de burbujas se elabora un diagnóstico. Por otro lado, estudios en morteros permiten verificar la reproducción del color evitando la elaboración de hormigones de prueba. El color se definió según el espacio CIELAB y las burbujas fueron relevadas con una plantilla calibrada. Los estudios se realizaron sobre paneles fabricados con hormigones arquitectónicos.

Palabras-Clave: *Patrimonio Moderno, Hormigón Arquitectónico, Aspectos Estéticos.*

### 1. INTRODUCCION

Los aspectos estéticos son características del Hormigón Arquitectónico que motivan su aplicación; las infinitas alternativas de superficies deben estar limitadas por requerimientos que en general se especifican en los proyectos. Las estructuras conformadas por este tipo de hormigón trascienden por su valoración histórica o artística [1] y constituyen, en algunos casos, el patrimonio moderno de un estado. Para su fabricación es necesario tener presente los materiales componentes de la mezcla y su interacción con los moldes.

Los diferentes tipos de moldes permiten diseñar “formas” adecuadas al proyecto; a su vez, éstos son debidamente tratados para disminuir defectos como lo son poca “homogeneidad del color” y aparición de “burbujas”. Dichos defectos, son tales cuando el criterio de diseño no necesita de ellos, y dependen de la proporción de los materiales, de su consecuente fluidez y de la colocación en los moldes. Definir una metodología que cuantifique los niveles de variación del color y la cantidad de burbujas es determinante para valorar la calidad superficial de un hormigón y así elaborar un diagnóstico en función de los aspectos estéticos.

La fluidez de la mezcla indica la facilidad con que un hormigón se coloca en los moldes; si se considera que los materiales fueron perfectamente mezclados y se evita la segregación, no deberían presentarse superficies nubladas o marmoladas, sin embargo con moldes absorbentes (madera) aparecen veteados que no se condicen con mayor homogeneidad del color. Otra variable derivada de la fluidez es la aparición de burbujas, si bien poco se conoce sobre las



causas de su distribución [2], los Hormigones Autocompactantes (HAC) disminuyen notoriamente su aparición en la superficie y, comparado con aquellos que necesitan energía de compactación, aumentan su calidad. Ahora bien, el diseño del hormigón con color exige mayor precisión debido al elevado costo del pigmento y resulta una labor compleja debido a las infinitas posibilidades de colores. Por lo cual, estudios que lo estimen por medio de la elaboración previa de morteros, mezclas que requieren menor volumen de trabajo, comprenden un aporte significativo [3].

El color es una percepción sensorial que coexiste con tres elementos: objeto, luz y observador. El sistema CIELAB permite definirlo [4] y la diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) juzgar su variación perceptible por el ojo humano. Por otro lado, los estudios de distribución y cantidad de burbujas fueron estudiados en un principio con métodos visuales [5] y luego ajustados con procesamientos de imágenes [6]. Especificaciones indican para qué tipo de hormigón arquitectónico corresponden áreas de burbujas contenidos en superficies de 50 x 50 cm y sugieren la medición del color [7].

El objetivo del trabajo es proponer una metodología útil para diagnosticar la calidad de una superficie de hormigón en términos de las variables homogeneidad del color y la cantidad de burbujas. Para ello se plantearon hormigones con diferente fluidez: por un lado Hormigones Autocompactantes Coloreados (HACC) y Hormigones de asentamiento (HA) 150 mm. Se realizaron inspecciones visuales, mediciones, análisis de datos. En particular, se presenta un ejemplo de estimación del color que puede ser utilizado para estudiar su reproducción que destaca el uso de la fórmula de ( $\Delta E^*$ ) [8].

## 2. METODOLOGÍA

La metodología comprende tres pasos. La inspección visual se realiza para detectar los principales defectos que aparecen en los primeros días de fabricado el hormigón, como lo son “manchas” y “burbujas” y su documentación a través de fotografías y esquemas; la tarea se realiza a no más de tres metros de distancia [5] con iluminación natural en laboratorio. De este modo se deciden los lugares donde realizar las determinaciones del color y comenzar el relevamiento de burbujas. Las manchas comprenden cambios de colores percibidos por el observador y las burbujas son espacios vacíos que no fueron llenados con la mezcla y se pueden modelar con esferas. Considerando que las manchas son independientes de las burbujas, se procede a medir el color de las diferentes zonas donde se detectaron cambios y a relevar las burbujas. Luego se realizan evaluaciones del cambio de color según la fórmula de diferencia de color total [8] y se comparan las superficies de burbujas contadas en la superficie con tolerancias de métodos antiguos [5] y actualizados [6]; esto permite elaborar el diagnóstico de la calidad superficial en términos de homogeneidad del color y superficies de burbujas. Los estudios se realizaron en paneles fabricados con hormigones arquitectónicos de colores rojo y amarillo.

Como ejemplo de aplicación se presenta el análisis del color entre muestras de hormigones coloreados y de sus morteros. Las superficies que se compararon fueron obtenidas con el mismo material del molde y sus correspondientes tratamientos.

### 2.1. Evaluación de la homogeneidad del color

Para evaluar el color uno de los sistemas más utilizados es el modelo CIELAB propuesto por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) [4-9]. Este sistema queda definido por tres variables, que suelen representarse en sistemas cartesianos o polares; en el primero se utilizan los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y, en el segundo, los parámetros luminosidad ( $L^*$ ), saturación ( $C^*$ ) y tono ( $h^*$ ) (ver ecuación 1 y 2). El modelo se puede representar en un sistema ortogonal mediante un eje vertical llamado luminosidad ( $L^*$ ), que indica claridad u oscuridad, y un plano horizontal conformado por los ejes  $a^*$  y  $b^*$ . El eje  $a^*$  representa la variación rojo-verde, siendo positivo para el primero ( $+a^*$ ) y negativo para el segundo ( $-a^*$ ). El eje  $b^*$  representa la variación amarillo-azul, siendo positivo para el primero ( $+b^*$ ) y negativo para el otro ( $-b^*$ ) [4]. Por otro lado, la saturación



indica qué tan vívido es un color y el tono ( $h^*$ ) es el ángulo que indica si el color es rojo ( $0^\circ$ ), amarillo ( $90^\circ$ ), verde ( $180^\circ$ ) o azul ( $270^\circ$ ). Este sistema ha permitido, además de definir el color, realizar determinaciones sobre elección de técnicas de limpieza en fachadas construidas con piedras [10], u observar la evolución del daño en el hormigón provocados por el fuego [11] y la estabilidad del color en morteros y hormigones arquitectónicos [12]. Los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron obtenidos con el espectrofotómetro BYK Gardner.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$h^* = \arctg(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (3)$$

Coelho (2000) [13] define como hormigón de color uniforme y sin defectos de superficie al "hormigón cuyas superficies presentan variaciones de color estéticamente aceptables, exento de manchas, o bien, con superficies donde los defectos son insignificantes y no son perceptibles más que con un examen efectuado de cerca". Por lo tanto, cuantificar la variación del color que resulta inaceptable para cualquier observador permite justificar la elaboración de diagnósticos. Para ello se calcula el parámetro diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ). Este valor permite determinar el grado de variación del color entre dos posiciones en el espacio CIELAB, donde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  son las diferencias de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , respectivamente (ver ecuación 3). La Tabla 1 muestra los niveles de  $\Delta E^*$  utilizados en este trabajo. La técnica se aplicó también para evaluar la reproducción del color en Hormigones Autocompactantes Coloreados [3].

**Tabla 1 – Niveles de diferencia de color total  $\Delta E^*$  [14].**

Niveles	No visibles	Muy leve	Leve	Notable	Muy Notable	Grande	Muy Grande
$\Delta E^*$	< 0.2	0.2-0.5	0.5-1.5	1.5-3.0	3.0-6.0	6.0-12.0	> 12.0

## 2.2. Evaluación de las burbujas

El origen de las burbujas no está muy claro, pues durante su compactación, el aire atrapado en la zona cercana al molde puede ser fácil de mover con métodos de compactación, sin embargo es complejo controlar su aparición. El Hormigón Autocomactante contribuye disminuyendo la cantidad de burbujas pero tampoco pueden ser controladas. La cantidad de vacíos está vinculada a la velocidad de llenado y la relación es directa [2]. Las propiedades del HAC también influyen en la aparición de burbujas, por ejemplo con un HAC de alta fluidez y baja viscosidad se obtienen superficies menos porosas ya que el aire atrapado escapa con mayor facilidad [15].

El informe CIB n° 24 [5] analiza la aparición de burbujas y la considera como defecto según 7 láminas en las que se indican sus tamaños y distribuciones; estas láminas son asignadas a una superficie por un observador ubicado a menos de 3 metros y luego de la evaluación sugerida por el reporte, concluye en diferentes calidades. La Tabla 2 resume los porcentajes de burbujas correspondientes a cada lámina ajustada con procesamientos de imágenes [6], además se indican los límites de los diámetros de una esfera ideal que fueron considerados para su relevamiento. Para el relevamiento se utilizó una plantilla calibrada con los diámetros mencionados anteriormente, ésta se colocaba en diferentes sectores de paneles fabricados con HAC y HA. Luego de contar las burbujas, se calculó el área de las mismas y se ponderó según una superficie indicada en el Merkblatt Sichtbeton [7]. El código analiza los aspectos más importantes para lograr superficies de calidad y son: diseño, textura, color, calificación superficial, restauración y mantenimiento. El código presenta cuatro clases de hormigón arquitectónico/visto determinadas en función de condicionamientos de la textura, el color, la ubicación de las juntas y el nivel de



acabado, entre otros [7]. La calidad superficial es planteada en función del lugar de emplazamiento y la distancia de observación de los cuales surgen cuatro clases de hormigón (SB1, SB2, SB3, SB4). A medida que aumenta la clase de hormigón (SB) las tolerancias son más acotadas y se limitan a los aspectos superficiales referidos a textura (T), porosidad (P), color (FT), juntas de trabajo y de encofrados (AF), lisura (E). La Tabla 3 muestra la clasificación de porosidad (P) que señala los niveles de burbujas presentes en las superficies.

**Tabla 2 – Cantidad de burbujas.**

Parámetros		Lámina N° (CIB nº 24)						
		1	2	3	4	5	6	7
% de burbujas	*	0	0.3	0.9	1.9	3.0	4.0	14
	**	0.03	0.13	0.64	2.05	3.67	s/d	s/d
Diámetros	(mm)	< 2	2-4	2-6	2-12	2-17	s/d	s/d

\*Lemaire, 2005. \*\* Relevamiento manual considerando las burbujas como esferas.

**Tabla 3 – Clases de poros [7] para un cuadrado de 50 cm de lados.**

Clases de hormigón visto	SB1	SB2	SB3	SB4
Moldes Absorbentes	P1	P2	P3	P4
Moldes no absorbentes		P1	P2	P3

P :burbuja. P1 (3000 mm<sup>2</sup>=1.2 %); P2 (2250 mm<sup>2</sup>=0.9 %); P3 (1500 mm<sup>2</sup>=0.6 %); P4 (750 mm<sup>2</sup>=0.3 %)

### 2.3. Materiales, Mezclas y moldes

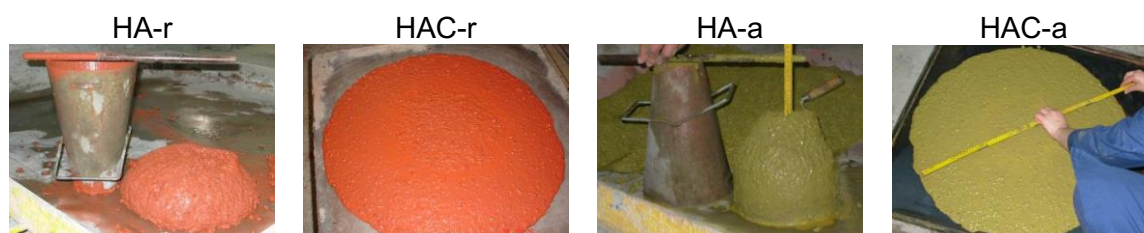
Se elaboraron cuatro hormigones coloreados con agentes colorantes, dos con pigmento rojo (r) y dos con pigmento amarillo (a), ambos óxidos de hierro de densidad 4.85 y 3.80 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. El contenido de pigmento se mantuvo fijo con respecto a la suma de los pesos de cemento y de filler. Para cada pigmento se realizaron Hormigones Autocompactantes Coloreados (HAC-r y HAC-a) y hormigones compactados mecánicamente (HA-r y HA-a). Se utilizaron cemento gris CPF40 y filler calcáreo. La relación agua/cemento fue de 0.50 y se utilizó un superfluidificante cuyos contenidos fueron determinados en estudios de optimización realizados en morteros [16]. El agregado fino fue una arena silíceo natural (Densidad: 2.63 Kg/dm<sup>3</sup>, Absorción 0.50%) y el agregado grueso fue una piedra partida granítica de tamaño máximo 12 mm (Densidad: 2.75 Kg/dm<sup>3</sup>, Absorción 0.50%). En la Tabla 4 se detallan las proporciones.

**Tabla 4 – Proporciones de materiales para cada hormigón.**

Hormigón	Agua	Cemento	Fíller	Pigmento	Super.	Arena	Piedra
	(kg/m <sup>3</sup> )						
HA-r	165	330	-	9	2.5	855	934
HAC-r	152	303	234	15	5.5	702	741
HA-a	167	334	-	9	4.0	887	990
HAC-a	163	325	248	16	5.4	754	795



Las propiedades en estado fresco de los HAC coloreados se evaluaron mediante los ensayos de escurrimiento [17], escurrimiento con anillo J [18] y embudo en V [19]. El ensayo de escurrimiento consiste en llenar con hormigón el cono de Abrams, se levanta y se mide el tiempo que tarda la mezcla en sobrepasar el diámetro de 500 mm ( $T_{50}$ ) y, cuando deja de escurrir, se mide el diámetro final ( $D_f$ ); con este ensayo es posible valorar la capacidad de fluir del HAC bajo efecto de su propio peso y el valor  $T_{50}$  sugiere indirectamente sobre la viscosidad. Este ensayo se repite con el anillo J y se mide nuevamente el diámetro final ( $D_j$ ), la diferencia entre los diámetros  $D_f$  y  $D_j$  sugiere la capacidad de paso del HAC a través de restricciones. El Embudo en V tiene por objeto evaluar la habilidad de fluir en áreas restringidas (pequeñas aperturas), también permite calificar la tendencia a la segregación y al bloqueo y da una idea de la viscosidad, se llena el embudo en V y se mide el tiempo ( $T_v$ ) que tarda en vaciarse el recipiente. El hormigón HAC-r presentó un  $D_f$  de 700 mm y un  $T_{50}$  igual a 2.0 s, el  $D_j$  fue 650 mm y el  $T_v$  de 4.4 s; el HAC-a alcanzó valores similares de  $D_f$  y  $D_j$  y tuvo un comportamiento levemente más viscoso ya que el tiempo  $T_{50}$  aumentó a 2.3 s y el  $T_v$  a 5.8 s. En los hormigones HA-r y HA-a se midieron asentamientos igual a 150 mm. La Figura 1 muestra la fluidez de los 4 hormigones.



**Figura 1 – Fluidez de los hormigones empleados en la fabricación de paneles de color**

Los hormigones se colocaron en un molde metálico de 0.08 x 1.0 x 2.0 m. Sobre los laterales interiores del molde se aplicaron dos tratamientos superficiales: un agente desmoldante de base oleosa (AD) y un film de plástico (F). En cada caso se detallará el procedimiento realizado.

Por otro lado, se elaboraron cuatro morteros coloreados correspondientes a la matriz de los HAC (MAC-r y MAC-a) y a la de los hormigones compactados mecánicamente (MA-a y MA-r). Se evaluó la fluidez de los morteros MAC-r y MAC-a mediante el ensayo de escurrimiento para morteros y el embudo en V [20]. Los equipos son de la misma forma que los utilizados para hormigones pero más pequeños y los ensayos tienen los mismos principios. Con el primero se mide el diámetro final (SF) y con el segundo el tiempo que tarda en vaciarse el embudo (FT). El mortero MAC-r presentó un SF de 320 mm y un FT igual a 4.2 s; por otro lado con el MAC-a se alcanzaron valores de SF y FT de 290 mm y 4.5 s, respectivamente. Los morteros MA-a y MA-r se realizaron para comparar las terminaciones. Los morteros coloreados con pigmento rojo fueron colocados en dos tipos de moldes: uno de acero tratado con agente desmoldante (AD) y otro de plástico (P) para simular el film. Los morteros coloreados con pigmento amarillo recibieron el tratamiento AD.

### 3. RESULTADOS


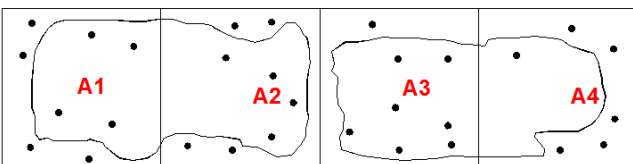

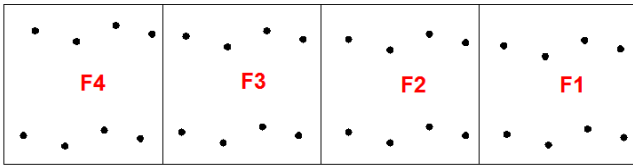
#### 3. 1 Homogeneidad del color y burbujas en hormigones rojos

Los estudios se realizaron sobre las caras de los paneles fabricados con HA-r y HAC-r, éstos obtenidos en moldes de acero. Las dimensiones aproximadas fueron 0.08 x 0.50 x 2.0 m. Una cara del molde fue tratada con AD (lado A) y la otra con un film (lado F). Para realizar el relevamiento, se consideraron en los lados cuatro cuadrículas que fueron identificadas con la letra del tratamiento y ordenadas, en el caso del HAC-r, según el sentido del flujo. El número menor indica el sector de llenado.


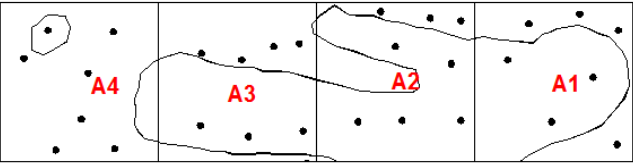

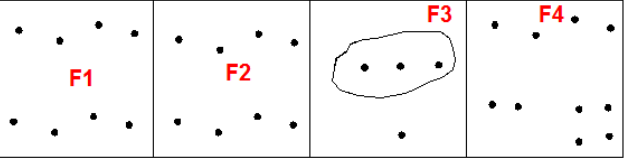




La Figura 2 muestra la apariencia del hormigón HA-r (izq) y el esquema de medición del color (der), aquí se señalan los puntos de mediciones y las curvas que indican las zonas de cambio de color (der). La decisión de los puntos de mediciones fue condicionada por las curvas que representan las “manchas”. Arriba se muestra la cara en contacto con el tratamiento AD y abajo con el tratamiento F. La Figura 3 hace lo propio para el hormigón HAC-r. Todas las caras tuvieron aspectos marmolados y sólo el en lado F del hormigón HA-r no se identificaron manchas. Ante este hecho, las medidas de color están ubicadas simétricamente. Se aprecia el cambio en la terminación conseguida con diferentes tratamientos. El lado F fue más brillante que el lado A.

Superficie obtenida del contacto con AD	Esquema: medición de color y manchas
	
Superficie obtenida del contacto con F	
	

**Figura 2 – Medición del color en el hormigón HA-r. Lado A (arriba), Lado F (abajo)**

Superficie obtenida del contacto con AD1	Esquema: medición de color y manchas
	
Superficie obtenida del contacto con F	
	

**Figura 3 – Medición del color en el hormigón HAC-r. Lado A (arriba), Lado F (abajo)**

Para analizar la homogeneidad del color sobre cada lado del panel fabricado con HA-r, se presentan en la Tabla 4 los valores promedios y desvíos estándares de la luminosidad ( $L^*$ ), la saturación ( $C^*$ ) y el tono ( $h^*$ ) calculados para cada cuadrícula y para cada lado. También se indican la diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) entre los valores promedios ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de cada cuadrícula y los promedios de cada cara. La mínima variación de los parámetros  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  en cada lado indica una buena homogeneidad del color. Además, los valores de  $\Delta E^*$  fueron siempre menores a 3 (*notable*). Comparando ambos lados surge que las superficies fueron muy diferentes entre sí. En el lado A,  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  fueron iguales a 46.8, 33.7 y  $35^\circ$  respectivamente, mientras que en el lado F

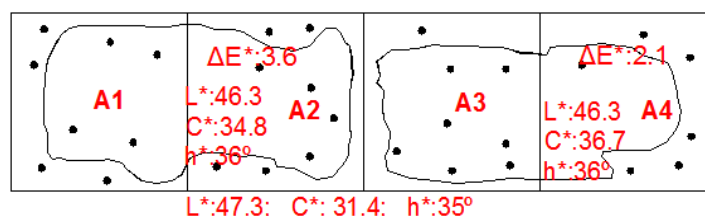


fue menos saturado ( $C^*$ : 26.6) y de tonalidad más rojiza ( $h^*$ :  $32^\circ$ ). Además, el valor elevado de  $\Delta E^*$  igual a 9 calculado entre los valores promedios de cada lado A y F, indica la dependencia del color con el tratamiento superficial realizado en los moldes.

**Tabla 4 – Medidas del color en los lados del panel HA-r, su homogeneidad.**

Cuadrículas- Lados		Parámetros colorimétricos						
		$L^*$	$Dst$	$C^*$	$Dst$	$h^*$	$Dst$	$\Delta E^*$ respecto al promedio del lado
Panel HA-r	A4	47.4	1.1	30.8	3.5	36	1.1	2.9
	A3	46.4	0.8	36.5	2.1	36	1.0	2.8
	A2	46.6	1.0	32.3	3.0	35	0.5	1.5
	A1	46.8	1.4	35.5	3.5	37	1.2	0.8
	Lado A	46.8	1.1	33.7	3.6	35	1.0	-
	F1	51.6	1.1	26.6	0.7	33	0.7	0.4
	F2	52.5	0.6	26.1	0.4	32	0.7	0.7
	F3	52.4	0.6	26.7	0.4	32	0.4	0.4
	F4	51.2	1.3	26.6	0.5	32	0.7	0.8
	Lado F	52.0	1.1	26.6	0.5	32	0.7	-
	$\Delta E^*$ lado A vs lado F							9.0

Para analizar la representatividad de las manchas observadas a una distancia menor a 3 metros, la Figura 4 muestra los valores promedios de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  de las mismas en el lado A del hormigón HA-r. Los valores se calcularon promediando los resultados dentro de las curvas que indicaron cambio de color y se compararon con los encontrados fuera de la curva por medio del valor de  $\Delta E^*$ . La principal diferencia fue la disminución de la saturación fuera de la curva, ya que de un valor igual a 35 desciende a 31. Los niveles de  $\Delta E^*$  calculados entre los valores dentro y fuera de la curva fueron igual a 3.6 y 2.1, éstos representan el grado de variación del color percibido por el ojo humano, que sólo es *notable*. El lado F no está graficado puesto que no se identificaron manchas.



**Figura 4 – Color en las manchas del panel HA-r, tratamiento AD**

Este procedimiento se repitió para analizar la homogeneidad del color en el hormigón HAC-r. La Tabla 5 muestra los valores de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  y  $\Delta E^*$ . Los parámetros  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  fueron muy parecidos entre las cuadrículas del lado A, en cambio en el lado F se destacó un aumento de la saturación ( $C^*$ : 34.6) el cual se condice con la mancha observada y con un elevado valor de  $\Delta E^*$  (8.3). Comparando ambos lados, nuevamente las diferencias principales ocurrieron en la saturación. En el lado A,  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  alcanzaron valores de 51.8 33.6 y  $35^\circ$ , y en el lado F fueron 52.8, 26.8 y  $33^\circ$ ,

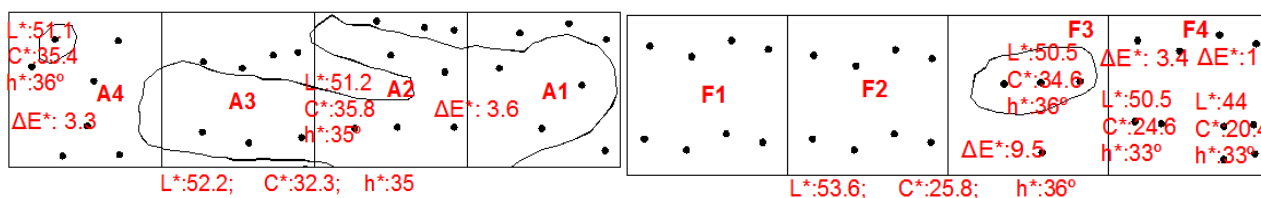


respectivamente. El valor de  $\Delta E^*$  entre los lados fue también importante e igual a 7, por lo que indica que el tratamiento también cambia el color.

La Figura 5 muestra una mancha de mayor extensión en el lado A del hormigón HAC-r y otra muy puntual en el lado F. Si bien en el lado A (ver Figura 5, izq) los valores de  $L^*$  y  $h^*$  fueron parecidos en los sectores analizados, los valores de  $C^*$  aumentaron 4 unidades dentro de las curvas; esta variación da lugar a valores de  $\Delta E^*$  iguales 3.3 y 3.6. En cuanto al lado F (ver Figura 5, der), la mancha identificada en la cuadrícula F3 implica un  $\Delta E^*$  igual a 9.5 y dos más pequeñas ubicadas en la parte inferior de la cuadrícula F4 que dieron lugar  $\Delta E^*$  iguales a 3.4 y 11.0.

**Tabla 5 – Medidas del color en los lados del panel HAC-r, su homogeneidad.**

Cuadrículas- Lados		Parámetros colorimétricos						
		$L^*$	$Dst$	$C^*$	$Dst$	$h^*$	$Dst$	$\Delta E^*$ respecto al promedio del lado
Panel HAC-r	A1	52.0	1.0	33.4	2.6	35	0.7	0.4
	A2	51.8	1.1	34.2	2.2	35	0.7	0.7
	A3	51.6	0.9	34.0	1.8	35	0.8	0.4
	A4	51.9	0.6	32.7	2.1	35	0.5	0.9
	Lado A	51.8	0.9	33.6	2.1	35	0.7	-
	F4	52.4	3.1	25.2	1.8	33	0.3	1.6
	F3	50.5	2.3	34.6	6.2	36	2.3	8.3
	F2	53.5	0.7	25.7	0.6	32	0.8	1.3
	F1	53.8	0.6	25.9	0.4	32	0.4	1.4
	Lado F	52.8	2.2	26.8	3.9	33	1.5	-
	$\Delta E^*$ lado A vs lado F							7.0



**Figura 5 – Color en las manchas del panel HAC-r, tratamientos AD (izq) y Film (der)**

Para evaluar las burbujas, la Tabla 6 resume la valoración de ellas en los hormigones arquitectónicos rojos y se expresa el área en porcentajes y en mm<sup>2</sup>. Según la clasificación de la Tabla 3, el hormigón HAC-r calificó con la mejor calidad (P4) en la superficie tratada con AD, en cambio con el tratamiento F, resultó con menor uniformidad ya que las cuadrículas calificaron entre P4 y P1. Los resultados indican que conforme avanza el flujo la cantidad de vacíos aumenta, es probable que el peso del hormigón en el lugar de colocación favorezca la liberación de burbujas. Por otro lado en las superficies del hormigón HA-r, el área de burbujas sobre el lado A superó el nivel más desfavorable (P1) y sobre el lado F alcanzaron los niveles P1 y P2. En consecuencia, el HAC-r tiene mejor calidad que el HA-r.



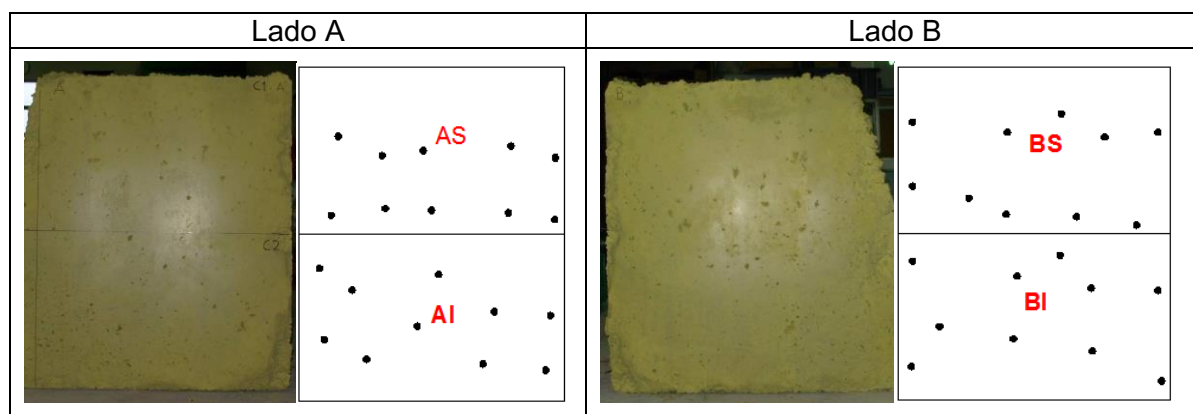


**Tabla 6 – Contenido de burbujas sobre las caras de los paneles HA-r y HAC-r.**

N° de Cuadrícula	HA-r						HAC-r					
	Lado A (AD)			Lado F (F)			Lado A (AD)			Lado F (F)		
	(%)	mm <sup>2</sup>	P	(%)	mm <sup>2</sup>	P	(%)	mm <sup>2</sup>	P	(%)	mm <sup>2</sup>	P
1	7.6	3816	> P1	1.6	4027	> P1	0	0	P4	0.0	13	P4
2	2.8	7007	> P1	1.3	3160	P1	0	0	P4	0.1	244	P4
3	2.7	6818	> P1	0.9	2305	P2	0	0	P4	0.8	1994	P2
4	2.0	5082	> P1	0.8	1958	P2	0	0	P4	1.0	2599	P1

### 3.2 Homogeneidad del color y burbujas en hormigones amarillos

Los hormigones amarillos fueron de diferentes dimensiones. El HA-a midió 0.08 x 1.00 x 0.80 m y se estudiaron dos cuadrículas, una superior (S) y otra inferior (I) de 0.08 x 0.50 x 0.80 m cada una. Las dimensiones del HAC-a fueron 0.08 x 1.00 x 1.20 m y se estudiaron cuatro cuadrículas de 0.08 x 0.50 x 0.60 m cada una, éstas se identificaron como S e I, acompañadas del número 1 o 2. Las superficies de los moldes fueron tratadas con AD (lado A y lado B). La Figura 6 muestra la apariencia del hormigón HA-a y su esquema de medición del color sobre el lado A (izq) y lo propio para el lado B (der). Se pueden apreciar las manchas oscuras presentadas a lo largo de la parte derecha del lado A y se corresponden con la parte izquierda del lado B.



**Figura 6 – Medición del color en las superficies del HA-a. Lado A (izq), Lado B (der)**

La Tabla 7 presenta los valores de  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$  y  $\Delta E^*$  para el hormigón HA-a. Los valores  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  de cada cuadrícula y de cada lado fueron muy similares en todos los casos y cercanos a 65, 35 y 79°, respectivamente, además en todos los casos los valores de  $\Delta E^*$  fueron menores a 2, indicando una muy buena homogeneidad del color en cada lado y entre ellos. La similitud entre los lados es consistente con haber utilizado el mismo tratamiento. A su vez, las manchas observadas en las dos caras se encuentran en los bordes verticales (ver Figura 6: derecha del lado A e izquierda del lado B). Las manchas se correspondieron con valores promedios de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  iguales 61, 32 y 79°, respectivamente y fuera de ella con mayor luminosidad (67) y saturación (35). La variación del color tiene una magnitud  $\Delta E^*$  en el orden de 6 unidades (*grande*). La Figura 7 presenta el aspecto del hormigón HAC-a y no se aprecian manchas importantes. La Tabla 8 muestra que los valores de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  fueron cercanos 70, 33 y 80° y los valores de  $\Delta E^*$  fueron, nuevamente, menores a 2 en los lados del HAC-a.



Tabla 7 – Medidas del color en los lados del panel HA-a, su homogeneidad.

Cuadrículas- Lados		Parámetros colorimétricos						
		$L^*$	Dst	$C^*$	Dst	$h^*$	Dst	$\Delta E^*$
Panel HA-a	A <sub>S</sub>	66.4	3.0	35.9	2.6	79	0.4	1.3
	A <sub>I</sub>	65.0	2.4	33.7	1.5	79	0.6	1.3
	Lado A	65.7	2.7	34.8	2.4	79	0.5	-
	B <sub>S</sub>	67.5	1.6	37.8	1.5	79	0.4	2.0
	B <sub>I</sub>	65.7	3.2	34.2	2.7	79	0.6	2.0
	Lado B	66.6	2.6	36.0	2.8	79	0.5	-
	$\Delta E^*$ lado A vs lado B							1.5

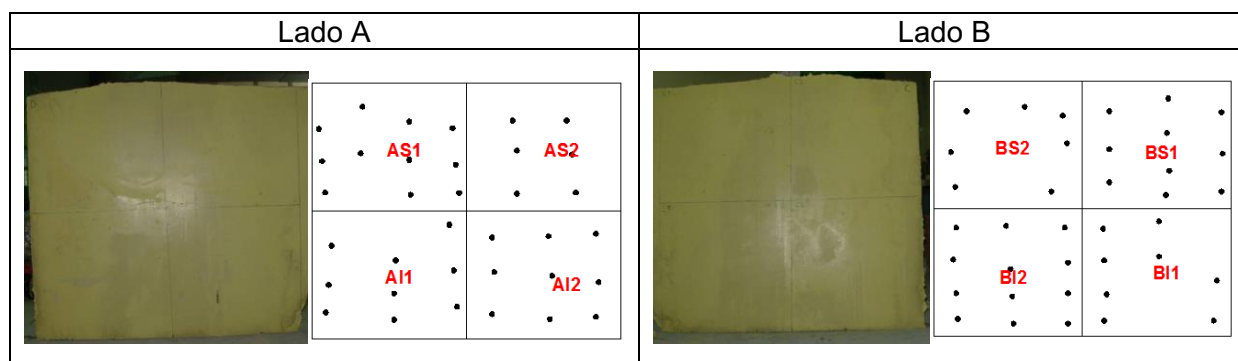


Figura 7 – Medición del color en las superficie del HAC-a. Lado A (izq), Lado B (der)

Tabla 8 – Medidas del color en los lados del panel HAC-a, su homogeneidad.

Cuadrículas- Lados		Parámetros colorimétricos						
		$L^*$	Dst	$C^*$	Dst	$h^*$	Dst	$\Delta E^*$
Panel HAC-a	A <sub>S1</sub>	69.7	2.6	32.6	1.8	80	0.8	2.0
	A <sub>S2</sub>	70.7	0.9	33.8	1.4	80	0.8	0.5
	A <sub>I1</sub>	71.5	0.7	35.2	1.8	79	0.6	1.1
	A <sub>I2</sub>	71.3	1.0	34.3	1.8	80	0.6	0.4
	Lado A	70.9	1.6	34.2	1.9	80	0.7	-
	B <sub>S1</sub>	71.2	1.4	33.8	1.3	80	0.5	0.3
	B <sub>S2</sub>	70.2	1.9	32.9	1.5	79	0.5	1.4
	B <sub>I1</sub>	71.6	0.9	34.8	1.7	79	0.9	1.0
	B <sub>I2</sub>	71.5	0.8	34.8	1.2	80	0.3	0.9
	Lado B	71.1	1.4	34.0	1.6	80	0.6	-
	$\Delta E^*$ lado A vs lado B							0.3



En la Tabla 9 se muestra el relevamiento del contenido de burbujas en los hormigones arquitectónicos amarillos. Los contenidos de burbujas fueron elevados en el hormigón HA-a y mayores a 3000 mm<sup>2</sup> para cada lado. Lo que indica una calificación muy desfavorable. En cambio, las caras del HAC-a un comportamiento excelente ya que los niveles de burbujas alcanzados fueron menores a lo necesario para considerarlo como la mejor calidad (P4).

**Tabla 9 – Contenido de burbujas sobre las caras de los paneles HA-a y HAC-a.**

Sectores	Paneles					
	Lado A			Lado B		
	(%)	mm <sup>2</sup>	P	(%)	mm <sup>2</sup>	P
Hormigón HC-a						
S	0.6	1539	P3	1.9	4848	>P1
I	1.6	3888	>P1	1.7	4157	>P1
Hormigón HAC-a (parte superior: S)						
S1	0.0	53.4	P4	0.0	78.5	P4
S2	0.1	138.2	P4	0.0	53.4	P4
Hormigón HAC-a (parte inferior: I)						
I1	0.0	50.2	P4	0.0	84.8	P4
I2	0.2	580.9	P4	0.0	75.4	P4

### 3. 3 Reproducción del color

La Tabla 10 muestra los parámetros L\*, C\* y h\* determinados en los morteros realizados para estimar el color de los hormigones estudiados en los puntos 3.1 y 3.2, además se indican los valores de  $\Delta E^*$  calculados entre los parámetros obtenidos en ambas mezclas. Las superficies recibieron tres tratamientos: agente desmoldante aplicado en moldes de acero (AD), plástico (P) y film (F). Los valores de  $\Delta E^*$  fueron menores a 7 en las mezclas rojas tratadas con AD, esto indica que el nivel es *grande*. Si bien dicha estimación no es alentadora, lo fueron entre las mezclas amarillas ya que el valor de  $\Delta E^*$  disminuyó a 3. También se midieron niveles bajos en las mezclas amarillas tratadas con AD y comparando las superficies tratadas con F y P. La metodología permite disponer de una estimación del color según los tratamientos.

**Tabla 10 – Reproducción del color.**

Morteros (M)					ΔE* M/H	Hormigones (H)				
Mezcla	Trat.	Color				Color			Trat.	Mezcla
		L*	C*	h*		L*	C*	h*		
MA-r	AD	49.8	28.1	31	6.8	46.8	33.7	35	AD	HC-r
	P	50.7	23.2	29	4.0	52.0	26.6	32	F	
MAC-r	AD	45.8	31.4	35	6.4	51.8	33.6	33	AD	HAC-r
	P	52.1	25.0	29	2.6	52.8	26.8	33	F	
MA-a	AD	68.4	32.8	78	3.0	70.9	34.2	80	AD	HAC-a



#### 4. CONCLUSIONES

En la actualidad el Hormigón ha conformado obras que trascendieron históricamente y adquirieron valor patrimonial. La forma, la textura y el color son las cualidades que han motivado su elección y dichos requerimientos estéticos han dado lugar a mayores exigencias. Por lo tanto, surge la necesidad de abordar el estudio de los aspectos estéticos tal que considere la situación inicial y luego la evolución de los mismos.

Este trabajo contribuye con una metodología que permite evaluar la homogeneidad del color y la cantidad de burbujas en distintas superficies obtenidas con Hormigones Arquitectónicos de diferente fluidez. El método consiste en realizar una inspección visual, detectar defectos, decidir los lugares para medir el color según el espacio CIELAB y relevar las burbujas, y así elaborar el diagnóstico. Los resultados muestran que la calidad varía según el tratamiento que reciben los moldes y según la fluidez del hormigón. En general, la homogeneidad del color en los Hormigones Autocompactantes rojo y amarillo fue mejor que la obtenida en los Hormigones compactados mecánicamente (HA). También se destacó la menor presencia de burbujas en los Hormigones Autocompactantes Coloreados.

El sistema CIELAB permite definir el color y la fórmula de diferencia de color total, consigue cuantificar la homogeneidad del mismo en función de las medidas analizadas. O sea que, los análisis por cuadrícula conducen a un diagnóstico global, y los análisis reorganizados de los valores según las manchas permiten cuantificar los defectos observados y su grado de variación. Los niveles de diferencia de color total estuvieron entre 3 y 11, esto es *notable* y *grande*.

Los valores elevados de la diferencia de color total se corresponden con las manchas observadas en la inspección visual. De este modo, se verifica la utilidad de la fórmula para cuantificar la homogeneidad del color.

Por último, los estudios de color entre morteros y hormigones coloreados indicaron diferentes grados de reproducción. El procedimiento de análisis muestra datos que relacionaron las mezclas de igual color y tratamiento. Los valores de diferencia de color total obtenidos indicaron muy buena posibilidad de reproducir algunas muestras y menor posibilidad en otras. El intervalo de posibilidades estuvo entre valores de 2 (*leve*) y 7 (*grande*). La técnica puede ser utilizada para restaurar y reparar obras arquitectónicas.

#### AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible a la desinteresada colaboración del personal del Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica y a la medición del color por parte del Sr. Gastón A. Guzmán del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas.

A los directivos del LEMIT Ing. Luis Traversa e Ing. Ángel Di Maio que permitieron realizar las experiencias con morteros y hormigones y al ex director del CIDEPINT Dr. Alejandro Di Sarli que puso a disposición del trabajo el espectrofotómetro.

Algunos de los resultados aquí presentados se corresponden con los datos publicados en el capítulo 5 "Aspectos Estéticos", incluido en la tesis doctoral Diseño y Caracterización del Hormigón Autocompactante Coloreado dirigida por Dr. Raúl Zerbino y Co-dirigida por Ing. Ángel Oshiro, a quienes también les agradezco por la dedicación en esta labor.

#### REFERENCIAS

[1] López, A, Zerbino, R. y Traversa, L. (2009), "Evolución tecnológica del hormigón visto empleado en estructuras, monumentos y esculturas". En *1er. Congreso Iberoamericano y VIII Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio"*, CIPBA-LEMIT, Argentina. T6-36. 16 pág.



- [2] Report 35 Rilem (2006), "Final REPORT of RILEM TC 188-CSC: Casting of Self Compacting Concrete", Ed. Skarendahl and Peter Billberg.
- [3] López, A., Zerbino, R., Positieri, M. y Oshiro, A., (2008). "EN 12878, una herramienta para la elección del color en mezclas a base de cemento Portland". En libro Resúmenes 9º Congreso Argentino del Color, Santa Fe, Argentina. 2008.
- [4] CIE 15. (200X) "Technical Report draft. Colorimetry". 3th Edition. 82 pág.
- [5] REPORT CIB nº 24 (1977). "Tolerances on Blemishes of Concrete", Ed Cib Working Commission W29 Concrete Surface Finishings, 14 pág.
- [6] Lemaire, G., Escadeillas, G. y Ringot, E., 2005. "Evaluating concrete surfaces using an image analysis process". *Construction and Building Materials*, Vol. 19, No 8, 2005, pp. 604-611.
- [7] Freimann T., "Sichtbetonbauwerke, Besonderheiten für Planung und Ausführung nach aktuellem Regelwerk". Gerorg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg. 18 pág.
- [8] EN 12878: 2005. Pigments for colouring of building materials based on cement and/or lime – Specification and methods of test.
- [9] Lozano, R. D., (1978). El color y su medición. Buenos Aires: Américalee S.R.L.
- [10] Fort, R. F., Mingarro, M.C., López de Azcona, J. y Rodríguez, B., (2000). "Chromatic parameters as Performance Indicator for Stones Cleaning Techniques". *Color Research and Application*, Vol. 25, pp. 442-446.
- [11] Annerel, E. y Taerwe, L. (2011). "Methods to quantify the colour development of concrete exposed to fire". *Construction and Building Materials*, Vol. 25, pp. 3989–3997
- [12] López, A. (2012). "Estabilidad del color en morteros y hormigones arquitectónicos". *Hormigón*, Vol. 51, pp. 29-39.
- [13] Coelho F.(2000). "Variación del Color y Textura Superficial en Hormigones Vistos, con Adición de Pigmentos Inorgánicos, Sometidos A Distintos Estados De Exposición Ambiental". Tesis doctoral Universidad Politécnica de Madrid, 248 pág.
- [14] Teichman, Gr. (1990). "The use of colorimetric Methods in the Concrete Industry?". *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, Vol. 11, pp. 58-73.
- [15] EPG (2005). "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use", disponible en <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>
- [16] López, A. (2012). "Diseño y Caracterización del Hormigón Autocompacante Coloreado". Tesis doctoral. Universidad Nacional La Plata, 189 pág.
- [17] ASTM C 1611/M-2005. Standards Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.
- [18] ASTM C 1621/C 1621M-2006. Standards Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete
- [19] EFNARC, 2002. "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete". EFNARC (European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures). Disponible en [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org).
- [20] Okamura, H. y Ouchi, M., 2003. "Self-compacting Concrete." *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 1, No 1, pp. 5-15.